

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. Oktober 2003 (02.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/081634 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: **H01J 37/34**
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE03/00962**
- (22) Internationales Anmeldedatum:
24. März 2003 (24.03.2003)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:
102 13 043.4 22. März 2002 (22.03.2002) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **VON ARDENNE ANLAGENTECHNIK GMBH**
[DE/DE]; Plattleite 19/29, 01324 Dresden (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ERBKAMM, Wolfgang** [DE/DE]; Henningsdorfer Strasse 1, 01257 Dresden

(DE). **HECHT, Hans-Christian** [DE/DE]; Nordstrasse 13 a, 01689 Weinböhla (DE).

(74) **Anwalt: ADLER, Peter**; Lippert, Stachow, Schmidt & Partner, Krenkelstrasse 3, 01309 Dresden (DE).

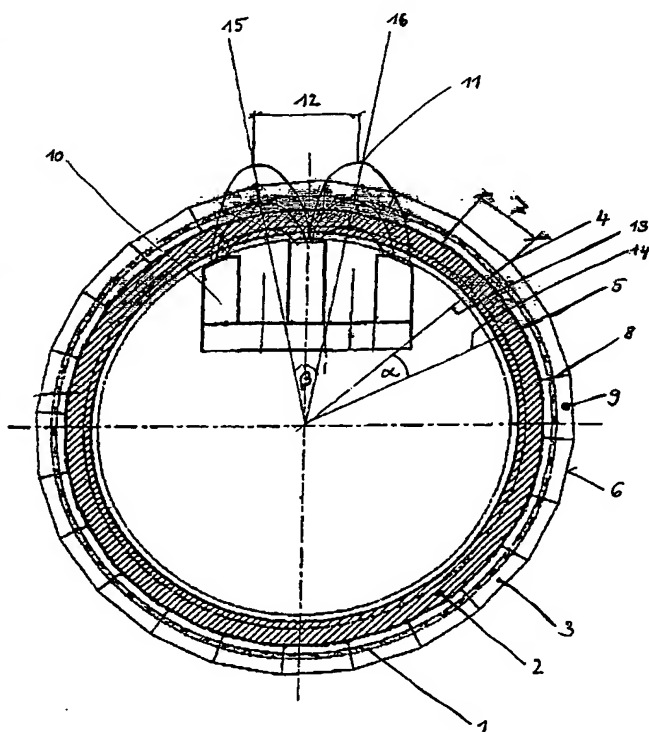
(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **TUBE MAGNETRON**

(54) Bezeichnung: **ROHRMAGNETRON**



(57) **Abstract:** The invention relates to a tube magnetron in a vacuum coating plant, provided with a hollow rotating tube target arrangement and a magnet system, comprising two magnetic field maxima in cross-section arranged in the axial longitudinal direction of the tube target arrangement and therein. The magnetic field passes through the tube target arrangement and the tube target arrangement comprises target plates running longitudinally which are fixed to a target support. The aim of the invention is to achieve an improved process uniformity as an essential condition for a high layer quality on the substrate, in particular on the use of target plates made from ceramics for example, ITO, zinc oxide, silicon and other ceramic, ceramic-like and/or high-melting materials. Said aim is achieved whereby the target plates are arranged adjacent to each other to form a polygon in cross-section.

(57) **Zusammenfassung:** Der Erfindung, die Rohrmagnetron einer Vakuumbeschichtungsanlage betrifft, das mit einer hohlen, drehbar gelagerten Rohrtargetanordnung, und mit einem Magnetsystem versehen ist, das im Querschnitt zwei Magnetfeldmaxima aufweist und das in der axialen Längserstreckung der Rohrtargetanordnung und in deren Inneren angeordnet ist, wobei das Magnetfeld die Rohrtargetanordnung durchdringt und die Rohrtargetanordnung längserstreckte Targetplatten aufweist, die auf einem Targetträger befestigt sind, liegt der Aufgabe zugrunde, insbesondere bei der Verwendung von Targetplatten aus

Keramiken z.B. aus ITO, Zinkoxid, Silizium und aus anderen keramischen, keramikähnlichen und/oder hochschmelzenden Material, eine verbesserte Prozessgleichmäßigkeit als wesentliche Voraussetzung für eine hohe Schichtqualität auf dem Substrat zu erzielen. Dies wird dadurch gelöst, dass die Targetplatten im Querschnitt ein Polygon bildend aneinander grenzend angeordnet sind.



DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Rohrmagnetron

Die Erfindung betrifft ein Rohrmagnetron einer Vakuumbeschichtungsanlage, das mit einer hohlen, drehbar gelagerten Rohrtargetanordnung, und mit einem Magnetsystem versehen ist. Das Magnetsystem weist im Querschnitt zwei Magnetfeldmaxima auf und ist in der axialen Längserstreckung der Rohrtargetanordnung und in deren Inneren angeordnet, wobei das Magnetfeld die Rohrtargetanordnung durchdringt. Die Rohrtargetanordnung weist längs-erstreckte Targetplatten auf, die auf einem Targetträger befestigt sind.

Bei dem hier und im nachfolgenden angegebenen Magnetfeldmaximum handelt es sich um das Maximum der tangential orientierten Magnetfeldkomponente an der Targetoberfläche.

Rohrmagnetrons allgemeiner Art sind seit längerem in der Anwendung in Vakuumbeschichtungsanlagen zum Beschichten von verschiedenen großflächigen Substraten mit unterschiedlichen Schichtmaterialien bekannt. Sie weisen sich durch eine hohe Ausnutzungsrates des Targetmaterials und eine lange Targetstandzeit aus. In der deutschen Patentschrift DD 217964 A3 wird ein Rohrmagnetron beschrieben. Durch eine gleichförmige Rotation des Rohrtargets wird eine gleichmäßige Erosion des Sputtermaterials auf der Rohrtargetoberfläche erzielt. Das Rohrtarget besteht hier vollständig aus dem zu sputternden Material, wie z.B. aus Aluminium oder Titan. Die im Innenraum des Rohrtarget realisierte Targetkühlung ist durch den günstigeren Wärmeübergang im Rohr wesentlich wirksamer als bei ebenen Targets, was eine Leistungssteigerung in Bezug auf die Beschich-

tungsrate gegenüber den ebenen Targets ermöglicht. In der Anwendung durch den Anmelder sind auch Vollmaterialrohrtargets aus Kupfer und Titan bekannt.

Ein weiteres Rohrmagnetron ist aus der Druckschrift US 4,356,073 bekannt. In diesem Fall werden Rohrtargets verwendet, die aus einem Trägerrohr und einer umlaufend aufgetragenen Schicht aus dem Sputtermaterial bestehen. Diese Schicht bestehen aus vornehmlich metallischem Sputtermaterial und wird vorwiegend durch Plasmaspritzen aufgetragen.

In der US 4,443,318 wird der naheliegendste Stand der Technik beschrieben, bei dem ein rotierendes Magnetron mit einem Rohrtarget ausgestattet ist, welches eine Vielzahl von einzelnen Targetstreifen mit dem aufgetragenen Sputtermaterial, befestigt auf ein Trägerrohr aufweist. Die Targetstreifen liegen in einzelnen Nuten des Trägerrohres und werden durch dazwischenliegende Klemmstreifen (Pratzen), die auf das Trägerrohr aufgeschraubt werden, an das Trägerrohr angepresst. Diese Gestaltung erlaubt die Anwendung von in Plattenform hergestellten Targetmaterialien auf der Oberfläche von Rohrtargets. Das hat den Vorteil der kostengünstigeren und weiteren Einsatzbreite von verschiedenen Sputtermaterialien, weil abhängig vom Material, teilweise die Herstellung von Plattenmaterial einfacher und wirtschaftlicher ist, als die Anwendung der Vollmaterial-Rohrtargets und des Plasmaspritzverfahrens und darüber hinaus teilweise nur die Herstellung in Plattenform geeignet ist, wie z.B. bei keramische Sputtermaterialien mit ihrer großer Härte und Sprödigkeit.

Das Aufbringen von keramischem Sputtermaterial auf die Oberfläche eines Rohrtargets ist im Plasmaspritzverfahren schwierig, da hiermit die erforderliche Materialdicke und Materialhomogenität der keramischen Stoffverbindungen nicht erzielt wird. Geringfügige Gefüge- und Legierungsabweichungen bei bestimmten keramischen Sputterschichten, wie z.B. bei ITO (Indium-

Zinnoxid-Legierung) oder Siliziumoxid führen, zu Prozessungleichmäßigkeiten. Gleichmaßen sind im derzeitigen Stand der Technik Vollmaterial-Rohrtargets aus keramischen Sputtermaterial mit den erforderlichen Eigenschaften nicht bekannt. Das im Hochdruckpressverfahren gesinterte keramische Material verfügt über eine hohe Blockdichte und Härte, wodurch sich dieses Material nicht beliebig bearbeiten lässt. Die Plattenform ist daher bei keramischen Sputtermaterialien eine bevorzugte Herstellungsform.

An den bekannten mit Targetplatten belegten Rohrtargets ist es jedoch nachteilig, dass infolge der tangentialen Auflage der ebenen Platten ein unterschiedlicher radialer Abstand der Targetplattenoberfläche zur Drehachse des Rohrtargets entsteht und zudem bedingt durch die Haltemechanismen der Targetplatten (Pratzen) Oberflächenbereiche ohne Targetmaterial vorkommen, wodurch eine polygone Rohrtargetoberfläche mit inhomogenen Abschnitten entsteht. Diese Oberfläche des Rohrtargets führt im Beschichtungsprozess während des Drehvorganges des Rohrtargets durch die feststehenden Magnetfelder zu erheblichen Schwankungen der Magnetfeldwirkung und damit der Sputterraten und nachfolgend zu Schwankungen in den Prozessparametern des Plasmas. Die Prozessgleichmäßigkeit als wesentliche Voraussetzung der Schichtqualität auf dem Substrat ist gestört.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabenstellung besteht darin, dass bei der Verwendung von Targetplatten auf Rohrtargets insbesondere von Targetplatten aus Keramiken z.B. aus ITO, Zinkoxid, Silizium und aus anderen keramischen, keramikähnlichen und/oder hochschmelzenden Materialien, eine verbesserte Prozessgleichmäßigkeit als wesentliche Voraussetzung für eine hohe Schichtqualität auf dem Substrat erzielt werden soll. Die Beschichtungsqualität bei der Anwendung der Rohrtargets mit Targetplatten soll an die Beschichtungsqualität bei der Anwendung von Rohrtargets mit aufgetragenem Sputtermaterial oder aus Vollmaterial bestehend angeglichen werden, um variablere und

kostengünstiger Beschichtungsprozesse im Einsatz von Rohrtargets bei gleicher Qualität zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Targetplatten im Querschnitt ein Polygon bildend aneinander grenzend angeordnet sind. In dieser Weise wird vermieden, dass Oberflächenbereiche auf den Rohrtargets ohne Targetmaterial als inhomogenen Abschnitten vorkommen. Hiermit werden die sprunghaften Schwankungen des Magnetfeldstärke und der Sputterrate, die durch das wechselnde Durchlaufen der Targetplattenoberflächen und der von Sputtermaterial freien Plattenzwischenräume durch die Magnetfelder des Magnetsystems erzeugt werden, erheblich abgebaut.

In einer günstigen Ausgestaltung der Erfindung ist die Breite und Anzahl der Targetplatten so gewählt, dass sich ein Winkel α , der von zwei durch je eine Ecke zweier benachbarter Ecken des Polygon verlaufenden gedachten Radiallinien eingeschlossen wird, zu einem Winkel β , der von zwei durch die Magnetfeldmaxima verlaufenden gedachten Radiallinien eingeschlossen wird, verhält zu

$$\beta = (n + 0,5) \cdot \alpha \quad \text{mit } (n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots).$$

Damit wird erreicht, dass der Abstand einer jeden Ecke des Polygons zur Mittellängslinie einer Targetplatte annähernd gleich dem Abstand der Magnetfeldmaxima im Bereich der Targetplattenoberfläche ist.

Eine Ecke erzeugt in dem Magnetfeldmaximum eine vergleichsweise geringe, eine Flächenmitte - wegen ihrer größeren Nähe zum Magnetsystem - eine vergleichsweise hohe Sputterrate. Durch die Ausgestaltung durchfährt jeweils eine Ecke das eine Magnetfeldmaximum, während eine Flächenmitte das andere Magnetfeldmaximum durchfährt. Damit ergibt sich eine hohe Sputterrate gepaart mit einer geringen Sputterrate, in der Summe eine mittlere Sputterrate. In gleicher Weise verhalten sich andere Abschnitte auf

dem Polygon zueinander. Damit werden Spitzen der Sputterraten in der Summe ausgeglichen und die trotz der vollflächigen Anordnung der Targetplatten verbleibenden Schwankungen der Sputterrate, erzeugt durch die polygone Rohrtargetoberfläche, weiter vermindert.

Mit anderen Worten schwächt sich beim Durchlaufen einer Stelle der Targetoberfläche mit dem größten Rohrtargetradius "Polygonecke" durch das Magnetfeld die Magnetfeldwirkung auf den Plasmaraum ab und die Sputterrate verringert sich auf ein Minimum, wogegen das Durchlaufen der Stelle der Targetoberfläche mit dem geringsten Rohrtargetradius („Polygonsenke“) zu einer Erhöhung der Magnetfeldwirkung führt und die Sputterrate auf ein Maximum ansteigt. Dieses Abschwellen und Anschwellen der Sputterrate beim Durchlaufen der Magnetfelder wird durch die gleichmäßig wiederholende Positionierung einer „Polygonspitze“ und einer „Polygonsenke“ zeitgleich in Bereichen des Magnetfeldes gleicher Intensität, vorzugsweise an dessen beider Maxima, ausgeglichen. Dabei kann entsprechend dem Abstand der Magnetfeldmaxima und der im Verhältnis dazu stehenden Breite der Targetplatten jeweils der Polygonspitzen bildende Plattenlängsrand und die Polygonsenken bildende Mittellängslinie beliebiger Targetplatten miteinander kombiniert werden. Diese Anordnung erzielt die Wirkung einer Dämpfung des Schwingungsverhaltens der Sputterrate und somit eine Prozessgleichmäßigkeit von neuer Qualität.

Besonders günstig ist es, die Breite und Anzahl der Targetplatten so zu wählen, dass

$$\beta = 1,5 \cdot \alpha .$$

Bei Polygonen mit unterschiedlichen Eckenanzahl ergeben sich dann folgende Winkel der Magnetfeldmaxima:

bei einem sechseckigen Polygon:	$\beta = 90^\circ$
bei einem achteckigen Polygon:	$\beta = 67,5^\circ$

bei einem 10-eckigen Polygon: $\beta = 54^\circ$
bei einem 12-eckigen Polygon: $\beta = 45^\circ$ usw.

Mit diesen Winkeln sind Breiten der Targetplatten möglich, die sich technologisch gut beherrschen lassen.

In einer günstigen Ausgestaltung der Erfindung, sind die Targetplatten auf den Targetträger aufgeklebt oder aufgebondet. Diese Technologie erleichtert die angrenzende Anordnung der Targetplatten auf dem Trägerrohr und vermeidet Befestigungshilfsmittel, die zu inhomogenen Oberflächengestaltung des Rohrtargets führen.

In einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung bestehen die Targetplatten aus Keramiken z.B. aus ITO, Zinkoxid, Silizium und aus anderen keramischen, keramikähnlichen und/oder hochschmelzenden Material, die durch andere Verfahren schwierig auf ein Rohrtarget aufzubringen sind.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Rohrtarget mit einer Drehzahl von 1 s^{-1} bis 2 min^{-1} drehbar. Somit kann die Geschwindigkeit des Rohrtargets auf verschieden breite Targetplatten optimal ausgerichtet werden.

Schließlich ist in einer Verwendung der Erfindung vorgesehen, dass ein Ausgleich von minimalen Schwankungen des Plasmas oder der Sputterraten mittels einer Regelung der Spannung oder mittels einer Plasmaemissionsmonitorregelung erfolgt.

Die wirkungsvolle Kompensation der Sputterraten-Schwankung durch die erfindungsgemäßen Targetplattenanordnung wird durch diese Regelung noch vervollkommen.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt einen Querschnitt durch ein Rohrtarget mit erfindungsgemäß aufge-

brachten Targetplatten und einem innenliegendem Magnetsystem.

Das Magnetron ist hier mit einem rotierendem Rohrtarget 1 ausgestattet, welches aus einem rohrförmigen Targetträger 2 besteht, auf dem eine Vielzahl von einzelnen längserstreckten ebenen Targetplatten 3 mit aufgetragenem Sputtermaterial, wie z.B. ITO, Zinkoxid, Silizium und anderen keramischen, keramikähnlichen und/oder hochschmelzenden Material, aneinander grenzend aufgeklebt oder aufgebondet werden. Durch die tangentielle Auflage der ebenen Targetplatten 3 auf dem rohrförmigen Targetträger 2 bildet sich eine lückenlose jedoch polygone Targetoberfläche mit Polygonecken 4 und Polygonsenken 6 auf dem Rohrtarget 1.

Formbedingt bilden die Plattenlängsränder 8 der Targetplatten 3 geometrisch die Polygonecken 4 und die Mittellängsachse 9 der Targetplatten 3 geometrisch betrachtet die Polygonsenken 6 der Targetoberfläche.

Im Inneren des Rohrtargets 1 befindet sich das feststehende Magnetsystem 10, das ein Magnetfeld mit zwei Magnetfeldmaxima 11 erzeugt, welche in einem von der Gestaltung des Magnetsystems 10 abhängigen Abstand 12 das Rohrtarget 1 durchdringen. Die maximal mögliche Sputterraten wird in den bei den Kernzonen des Magnetfeldes, d. h. in etwa im Bereich der beiden Magnetfeldmaxima 11 erreicht, außerhalb des davon nimmt die Sputterraten ab.

Die Breite 7 einer jeden Targetplatte 3 und die Anzahl der Targetplatten 3 ist nun so gewählt, dass sich ein Winkel α , der von zwei durch je eine Ecke zweier benachbarter Ecken 4 und 5 des Polygon verlaufenden gedachten Radiallinien 13 und 14 eingeschlossen wird, zu einem Winkel β , der von zwei durch die Magnetfeldmaxima 11 verlaufenden gedachten Radiallinien 15 und 16 eingeschlossen wird, sich verhält zu

$$\beta = (n + 0,5) \cdot \alpha \quad \text{mit } n = 1, \text{ d.h.}$$

$$\beta = 1,5 \cdot \alpha$$

Dadurch ist der Abstand eines jeden Plattenlängsrandes 8 der Targetplatten 3 zur Mittellängsachse 9 der benachbarten Targetplatte annähernd gleich dem Abstand der Magnetfeldmaxima 12 im Bereich der Targetplattenoberfläche. Diese beiden geometrischen relevanten Stellen (je eine Polygonecke 4 und Polygonsenke 6) befinden sich während des Rotierens des Rohrtargets 1 gleichzeitig in jeweils einem der beiden Magnetfeldmaxima 11. Dabei heben sich die Abweichungen der Sputterrate auf, die durch den unterschiedlichen radialen Abstand der Rohrtargetoberfläche zur Drehachse des Rohrtargets 1 und damit zum feststehendem Magnetsystem 10 auftreten. Werden mehrere Magnetfelder angewendet, ist die Anordnung analog so vorzunehmen, dass zeitgleich die gleiche Anzahl von Polygonecken 4 und Polygonsenken 6 in den Magnetfeldmaxima 11 sind.

Rohrmagnetron

Bezugszeichenliste

- 1 Rohrtarget
- 2 Targetträger
- 3 Targetplatte
- 4 Polygonecke
- 5 Pologonecke
- 6 Polygonsenke
- 7 Breite der Targetplatte
- 8 Längsrand der Targetplatte
- 9 Mittellängsachse der Targetplatte
- 10 Magnetsystem
- 11 Magnetfeldmaximum
- 12 Abstand der Magnetfeldmaxima
- 13 Radiallinie durch eine Polygonecke
- 14 Radiallinie durch eine Polygonecke
- 15 Radiallinie durch ein Magnetfeldmaximum
- 16 Radiallinie durch ein Magnetfeldmaximum

Rohrmagnetron

Patentansprüche

1. Rohrmagnetron einer Vakuumbeschichtungsanlage, das mit einer hohlen, drehbar gelagerten Rohrtargetanordnung, und mit einem Magnetsystem versehen ist, das im Querschnitt zwei Magnetfeldmaxima aufweist und das in der axialen Längserstreckung der Rohrtargetanordnung und in deren Inneren angeordnet ist, wobei das Magnetfeld die Rohrtargetanordnung durchdringt und die Rohrtargetanordnung längserstreckte Targetplatten aufweist, die auf einem Targetträger befestigt sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Targetplatten (3) im Querschnitt ein Polygon bildend aneinander grenzend angeordnet sind.
2. Rohrmagnetron nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite und Anzahl der Targetplatten (3) so gewählt wird, dass sich ein Winkel α , der von zwei durch je eine Ecke (4; 5) zweier benachbarter Ecken (4; 5) des Polygon verlaufenden gedachten Radiallinien (13; 14) eingeschlossen wird, zu einem Winkel β , der von zwei durch die Magnetfeldmaxima (11) verlaufenden gedachten Radiallinien (15; 16) eingeschlossen wird, sich verhält zu

$$\beta = (n + 0,5) \cdot \alpha \quad \text{mit} \quad (n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots) .$$

3. Rohrmagnetron nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

$$\beta = 1,5 \cdot \alpha .$$

4. Rohrmagnetron nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Targetplatten (3) auf den Targetträger (2) aufgeklebt oder aufgebondet sind.
5. Rohrmagnetron nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Targetplatten (3) aus Keramiken z.B. aus ITO Zinkoxid, Silizium und aus anderen keramischen, keramikähnlichen und/oder hochschmelzenden Material bestehen.
6. Rohrmagnetron nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrtarget (1) mit einer Drehzahl von 1 s^{-1} bis 2 min^{-1} drehbar ist.
7. Verwendung eines Rohrmagnetron nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgleich von minimalen Schwankungen des Plasmas oder der Sputterraten mittels einer Regelung der Spannung oder mittels einer Plasmaemissionsmonitorregelung erfolgt.

